

© С.В. Алексеєнко¹, В.А. Дербаба¹, В.М. Рубан¹, М.С. Алексеєнко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

НАВЧАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРО-ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

© S. Alekseyenko¹, V. Derbaba¹, V. Ruban¹, M. Alekseyenko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

EDUCATIONAL DESIGN AND MODELLING OF ELECTRO-HYDRAULIC CONTROL SYSTEM MACHINE TOOL MOTION

Мета. Представити технологію проектування та моделювання реальних електрогідравлічних систем, для застосування у навчальному процесі вищого навчального закладу, та перспективи запропонованого підходу при підготовці технічних фахівців. Як приклад розглянуто модель системи управління рухом гідравлічного циліндру приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстату, створеної на базі компонентів компанії Festo.

Методика. Методологічною основою роботи є системний підхід, який полягає у використанні сучасного програмного забезпечення FluidSim – комплексного програмного забезпечення для створення, моделювання та вивчення в тому числі електрогідравлічних схем та навчального обладнання компанії Festo, що дозволяє студентам набувати та розвивати практичні навички та одночасно моделювати реальне робоче середовище. Додатковими перевагами комп'ютерного та фізичного моделювання в освітньому процесі є інтерактивна компонента, яка сприяє візуалізації навчального матеріалу та покращує процес розв'язання завдань.

Результати. Враховуючи педагогічні особливості, притаманні світовим тенденціям у технічній освіті, обґрунтовано застосування у навчальному процесі комплексного підходу з використанням комп'ютерного та фізичного моделювання при підготовці технічних спеціалістів з проектування електрогідравлічних систем. Продемонстровано послідовність та підсумки роботи студентів на одному з варіантів виконання навчального проекту – системи управління рухом гідравлічного циліндра приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстату. Результатом запропонованого підходу також є підвищення мотивації студентів, досягнення більш високого рівня практичних знань та навичок порівняно з традиційною моделлю навчання.

Наукова новизна. Розроблено модифікований алгоритм формування розширеної моделі освоєння навчального матеріалу з електрогідравлічних приладів та систем із застосуванням сучасного програмного забезпечення та обладнання, що дозволяє студентам набувати та розвивати практичні навички та одночасно моделювати реальне робоче середовище.

Практична значимість. Матеріали роботи можуть слугувати основою для використання запропонованого комплексного підходу, який дозволить удосконалити процес навчання та викладання електрогідравліки, забезпечуючи більш високий рівень результатів навчання, особливо в частині набуття практичних знань та навичок.

Ключові слова: сучасна технічна освіта, електрогідравлічні системи, гідропривід верстатного обладнання, проектування та моделювання, FluidSim, Festo.

Вступ. В останні десятиліття гідравлічні системи набули значного розвитку та знаходять все більш широке використання у багатьох сферах застосування в різних галузях промисловості: авіабудуванні, ракетобудуванні, суднобудуванні, монтажному обладнанні, для роботи з металевими конструкціями, будівельній техніці, виплавці металу, металорізальних верстатах та в багатьох інших [1, 2]. Як наслідок, прикладні аспекти проектування гідравлічних систем із застосуванням математичних та фізичних моделей викликають все більшу зацікавленість у науковій спільноті. Такий підхід дозволяє виявити недоліки та переваги того чи іншого технічного рішення вже на початковому етапі проектування системи та значно скоротити вартість та час розробки таких систем. В свою чергу, не менш актуальним є питання підготовки технічних спеціалістів з проектування електрогідравлічних систем, а використання комп'ютерного та фізичного моделювання в освітньому процесі швидко зростає і стає основною тенденцією в технічній освіті.

Гідропривід використовують як один з елементів безпеки складних систем з метою підвищення надійності та відмовостійкості інших контурів, а також при вибухонебезпечних роботах через відсутність іскроутворення в робочій зоні [3].

Важливим етапом при розробці реальної системи з необхідними вихідними параметрами є підбір обладнання і ретельне моделювання всіх фізичних процесів і явищ, що відбуваються в ній. При цьому необхідно розуміти як працює кожен елемент окремо та як змінюються його робочі характеристики у процесі функціонування всього механізму.

У сучасних гідравлічних системах управління компонентами дуже часто здійснюється за допомогою електричних імпульсів, і такі системи називають електрогідравлічними.

Використання спеціалізованого програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання роботи електрогідравлічних систем спільно з фізичним моделюванням дозволяє наочно демонструвати принцип роботи таких систем, полегшує підбір їх елементів, виявляє слабкі місця обладнання та збільшує гнучкість при подальшому налаштуванні та модернізації. Крім того, наявність моделі системи та можливість її ретельного дослідження допомагає синтезувати різні регулятори та домагатися високої точності управління вихідною ланкою.

У свою чергу, інтенсивний технологічний розвиток останніх десятиліть суттєво вплинув також на модернізацію освітнього процесу та навчально-дидактичного обладнання. Для своєї повноцінної реалізації сучасна навчальна програма професійної технічної дисципліни повинна передбачати як застосування спеціалізованого програмного забезпечення, так і лабораторного обладнання, надаючи можливість студентам моделювати реальне робоче середовище та одночасно набувати та розвивати практичні навички [4, 5].

У даній роботі продемонстровано модельну реалізацію схеми електрогідравлічної установки для керування рухом гідравлічного циліндра приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстата. Комп'ютерне моделювання роботи електрогідравлічної системи реалізовано у програмному забезпеченні FluidSim, яке є комплексним програмним забезпеченням для моделювання систем керування рідиною, і в основному призначене для використання в освітніх

цілях. Фізичне моделювання реалізовано за допомогою набору компонентів навчального обладнання компанії Festo. Продемонстрований підхід допомагає студентам аналізувати та вирішувати проблеми, пов'язані з розробкою, експлуатацією та обслуговуванням електрогідравлічних систем, використовуючи відповідні теоретичні знання, а також удосконалювати свої практичні здібності [6].

Мета роботи і постановка задачі. Метою роботи є демонстрація технології проектування та моделювання реальних електрогідравлічних систем, для застосування у навчальному процесі вищого навчального закладу, та перспектив запропонованого підходу при підготовці технічних фахівців. Приклад демонстрації – розробка моделі гідравлічної системи приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстату, та системи управління послідовністю рухів в автоматичному режимі.

Система, що розробляється, повинна забезпечувати рух штоку гідравлічного циліндра (А), приєднаного до столу фрезерного верстату, здійснюючи його робочу подачу (рис. 1). Гідравлічний циліндр повинен керуватись за допомогою 4/3 електромагнітного розподільвача із закритими каналами у середньому положенні (у випадку, якщо під час руху вперед чи назад розподільвач перейде в середнє положення, стіл повинен зупинитися, навіть якщо він ще не досяг кінцевого положення). Необхідно забезпечити рух стола вперед із регульованою швидкістю подачі, а після досягнення кінцевого вимикача (S2) стіл повинен швидко повертатися назад. Рух стола повинен зупинятися із сигналом від перемикача, при цьому 4/3 електромагнітний розподільвач повинен переходити у середнє положення, а шток – зупиняти свій рух. Коли верстат знову вмикається після відключення, шток повинен переходити в початкове положення (S1) від ручного керування (поки оператор утримує кнопку).

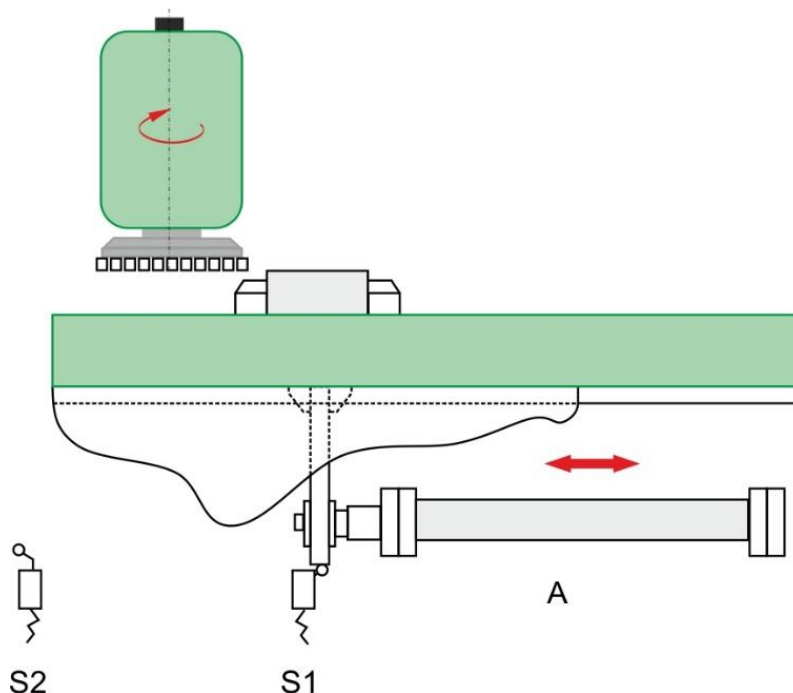


Рис. 1. Схематичне зображення приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстату

Основна частина. *Склад електрогідравлічної системи.* Система контролю послідовністю рухів вихідної ланки є типом управління з обов'язковою покроковою послідовністю дій. Перехід до наступних операцій здійснюється за сигналом кінцевих вимикачів S1 і S2.

В електрогідравлічній системі можна виділити три основні складові: гідравлічну, електричну (схему управління) та силову. Система управління та силова компонента є електричними.

Силова складова електрогідравлічної системи включає всі елементи, відповідальні за постачання енергії, управління енергією і робочі рухи приводу.

На рис. 2 представлено фізичну модель гідравлічної системи управління рухом циліндра приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстата, яка створена з використанням набору гідравлічного обладнання компанії Festo. Складовими елементами та обладнанням, необхідними для складання даної системи є: стенд для монтажу гідравлічних компонентів, гідростанція, клапани обмеження тиску, манометри, 4/3 електромагнітний розподільувач, дволінійний регулятор витрат на ламінарному дроселі змінний, зворотні клапани, циліндр двосторонньої дії з одностороннім штоком, елементи трубопроводу.



Рис. 2. Фізична модель електрогідравлічної системи приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстату (на основі компонентів навчального обладнання компанії Festo)

Гідростанція складається з приводного двигуна, гідронасоса з фільтром на вході, запобіжного клапана, бака для робочої рідини, клапана обмеження тиску, що настраюється залежно від величини максимально допустимого.

У гідравлічній системі виконавчим елементом є циліндр, при цьому шатун рухається та здійснює механічну роботу. У схемі застосовано циліндр із двостороннім режимом роботи (або циліндр двосторонньої дії). У таких циліндрах робоча рідина подається з обох боків поршня, тому робочий хід циліндра здійснюється в обох напрямках.

Для керування робочим циліндром двосторонньої дії в системі, що розробляється, використовується 4/3 електромагнітний розподільник. У стані без навантаження він буде знаходитись у середньому положенні, при цьому всі канали будуть перекриті. Такий розподільник не має функції збереження сигналу, тому в електричній системі керування встановлена схема самоутримання з реле. Якщо самоутримуюча схема скине запам'ятовуваний сигнал під час руху вперед або назад, то шток майже відразу зупиняється (відбувається аварійне вимкнення). У цьому випадку шток не продовжуватиме рух, і перемикач від кінцевого вимикача S1 не відбудеться. Тому розроблено електричну схему, в якій шток повертатиметься у вихідне положення після аварійного вимкнення. Цей зворотний рух запускатиметься при натисканні на кнопку та її утримуванні, яка переключить 4/3 розподільник на зворотний хід штока. Однак, ця кнопка не буде вмикатися без попереднього натискання на інший вимикач «ручне керування». Таке блокування також може забезпечуватись в електричній схемі встановленням реле та кнопки.

Оскільки рух столу вперед повинен відбуватися із регульованою швидкістю, а рух назад повинен відбуватися швидко, на вході в гідроциліндр встановлено змінний регулятор витрат, а на виході – клапан обмеження тиску (підпирний клапан). При прямому ході рідина буде протікати в обхід підпирного клапана, а при зворотному ході – в обхід регулятора витрат – через зворотний клапан.

Працюючи на даній навчальній установці, студенти знайомляться з принципами роботи прикладних гідравлічних компонентів, навчаються проектувати гідравлічні системи та моделювати їхню роботу, а також навчаються реалізовувати системи такого типу.

Проектування гідравлічної та електричної систем. Для чисельного моделювання електрогідравлічної системи використано спеціалізовану програму FESTO FluidSim (рис. 3). FluidSIM – це комплексне програмне забезпечення для створення, моделювання, навчання та вивчення електропневматичних, електрогідравлічних, цифрових та електронних схем. Усі функції програми плавно взаємодіють, поєднуючи різні медіаформи та джерела знань у легкодоступній формі. FluidSIM поєднує інтуїтивно зрозумілий редактор принципів схем з докладними описами всіх компонентів, фотографіями компонентів, анімацією в розрізі та відеопослідовністю [7]. Гідравлічні компоненти пояснюються за допомогою текстових описів, малюнків та анімацій, що ілюструють основні принципи роботи [8].

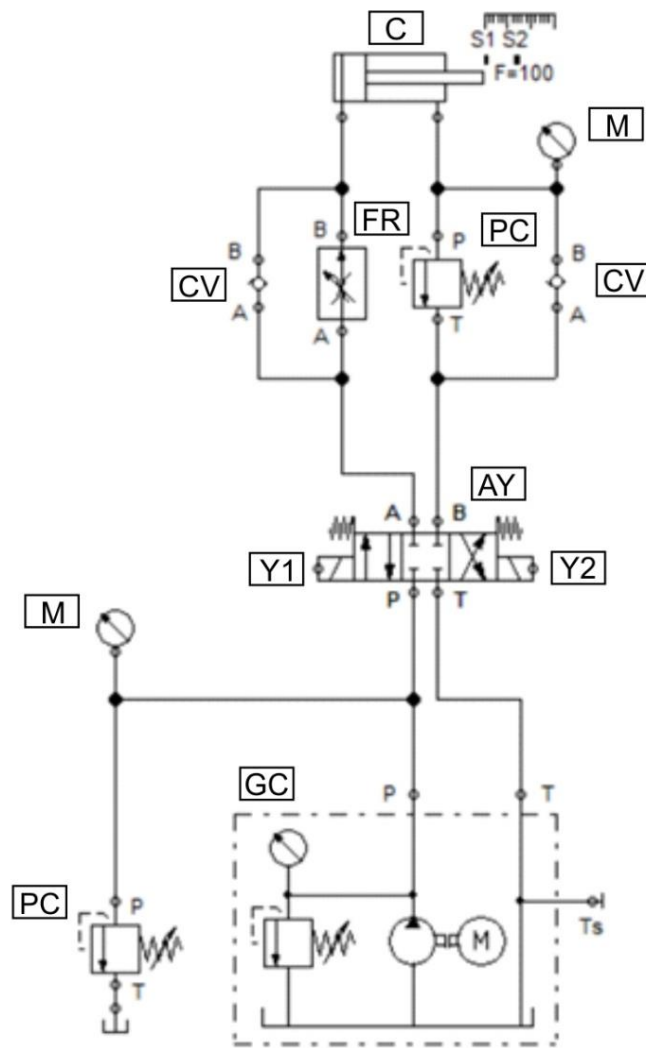
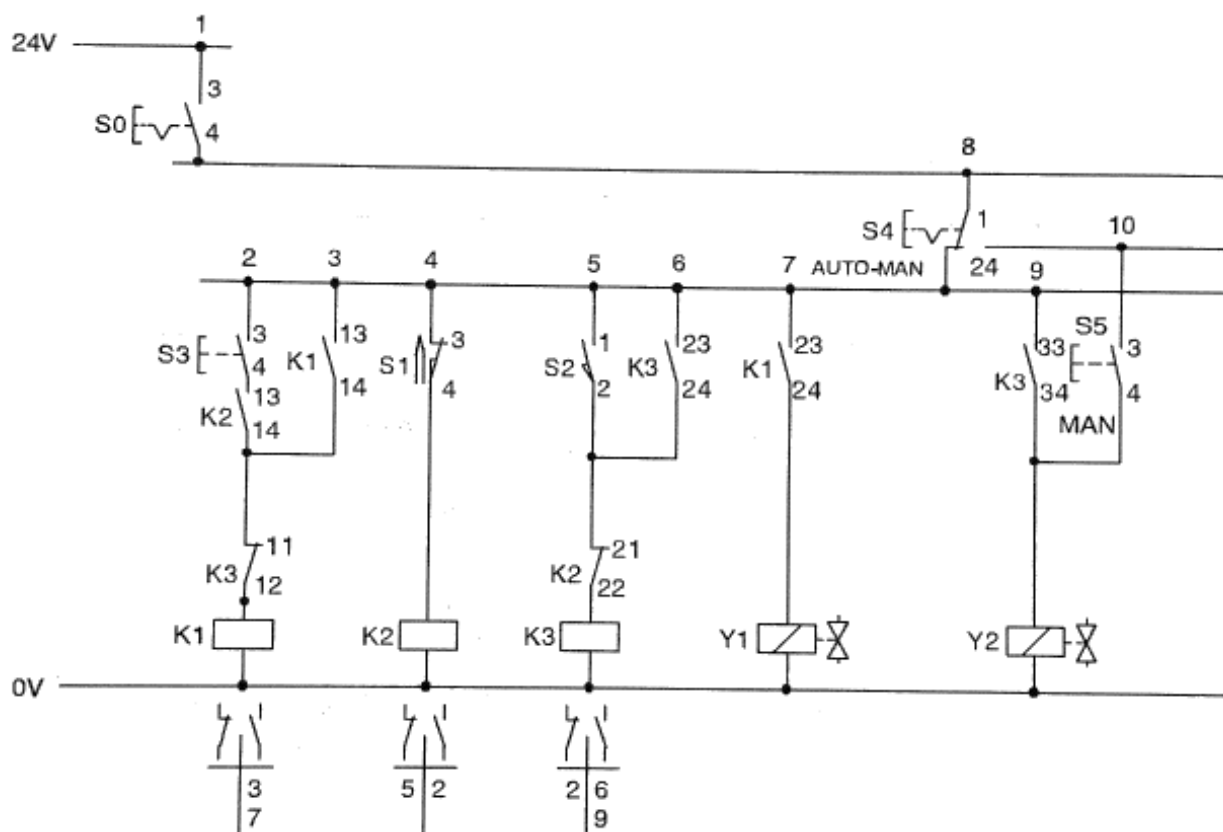


Рис. 3. FluidSim схема гідравлічної системи

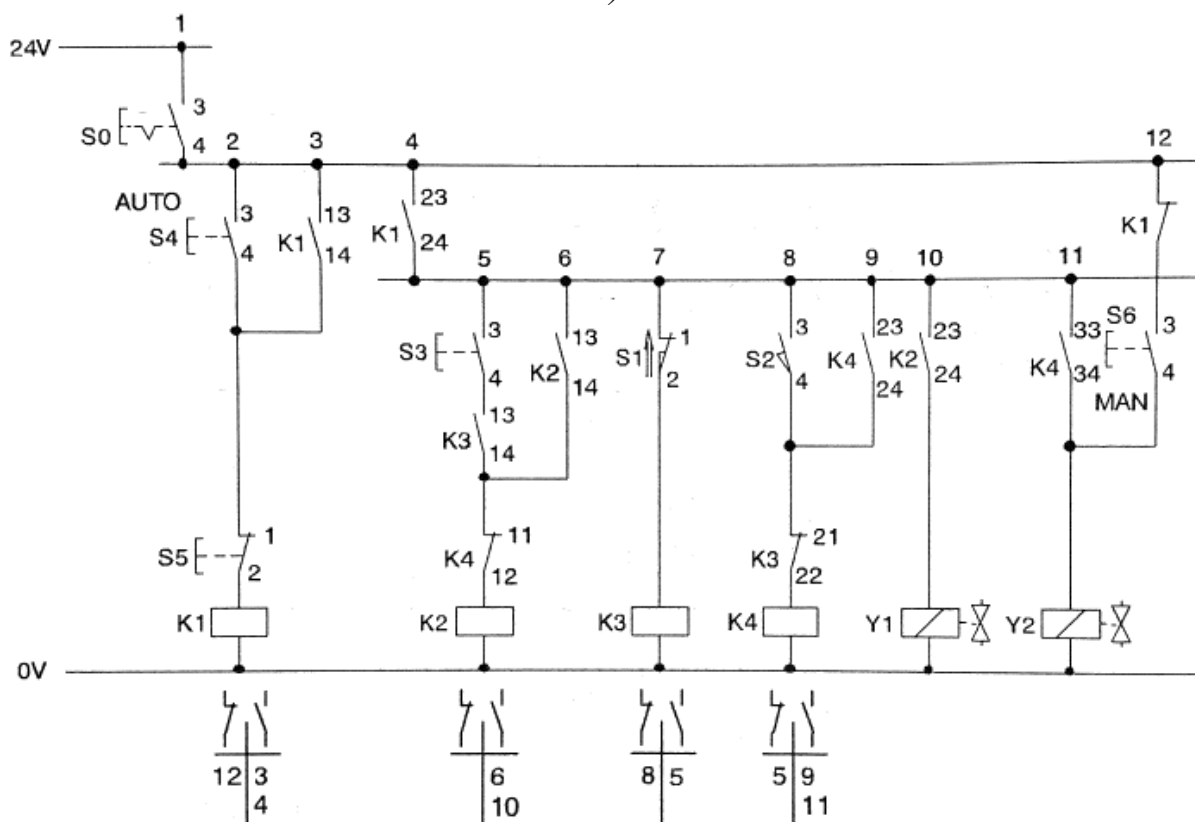
Електрична частина системи може бути виконана по-різному. Кожен студент може застосувати свою логіку, розробивши власну схему системи, що виконує необхідну послідовність. Електрична схема залишається лише у вигляді принципової схеми, тому учні можуть використовувати всі електричні компоненти, які, на їх думку, необхідні. Один із варіантів електричних схем представлений на рис. 4.

У випадку реалізації схеми переключення з автоматичного на ручне керування за допомогою перемикача, після переключення вимикача в положення, що відповідає ручному керуванню, шток втягується весь час, поки натиснута та утримується кнопка S5 (рис. 4а).

У випадку використання кнопки при переході з автоматичного на ручне керування натискання кнопки S5 знімає самоутримання з реле K1. При цьому нормально замкнений контакт K1 у гільці 12 замикається, шток витягується увесь час, поки натиснута та утримується кнопка S6 (рис. 4б).



a)



б)

Рис. 4. Схема електричної системи переключення з автоматичного на ручне керування за допомогою: а – перемикача б – кнопки

Перелік складових елементів гідравлічної та електричної систем наведено в таблиці. Кожен символ може бути параметризований як фізичний компонент системи. Наприклад, гідроциліндр А подвійної дії має максимальний хід 200 мм діаметр поршня 16 мм і діаметр штока 10 мм. Ці параметри необхідно налаштувати у розділі програмного забезпечення конфігуратора циліндрів, показаному на рис. 5.

Таблиця

Перелік складових елементів електрогідравлічної системи

Кількість елементів	Позначення	Опис елементу
1	GS	Гідростанція
2	PC	Клапани обмеження тиску
2	M	Манометри
1	AY	4/3 електромагнітний розподілювач
1	FR	Дволінійний регулятор витрат змінний
2	CV	Зворотні клапани
1	A	Циліндр двосторонньої дії
2	Y1, Y2	Соленоїди розподілювача
1	–	Електричне підключення 24В
1	–	Електричне підключення 0В
4	K1, K2, K3, K4	Реле
1	S0	Головний вимикач
2	S1, S2	Кінцеві вимикачі
4	S3, S4, S5, S6	Кнопки

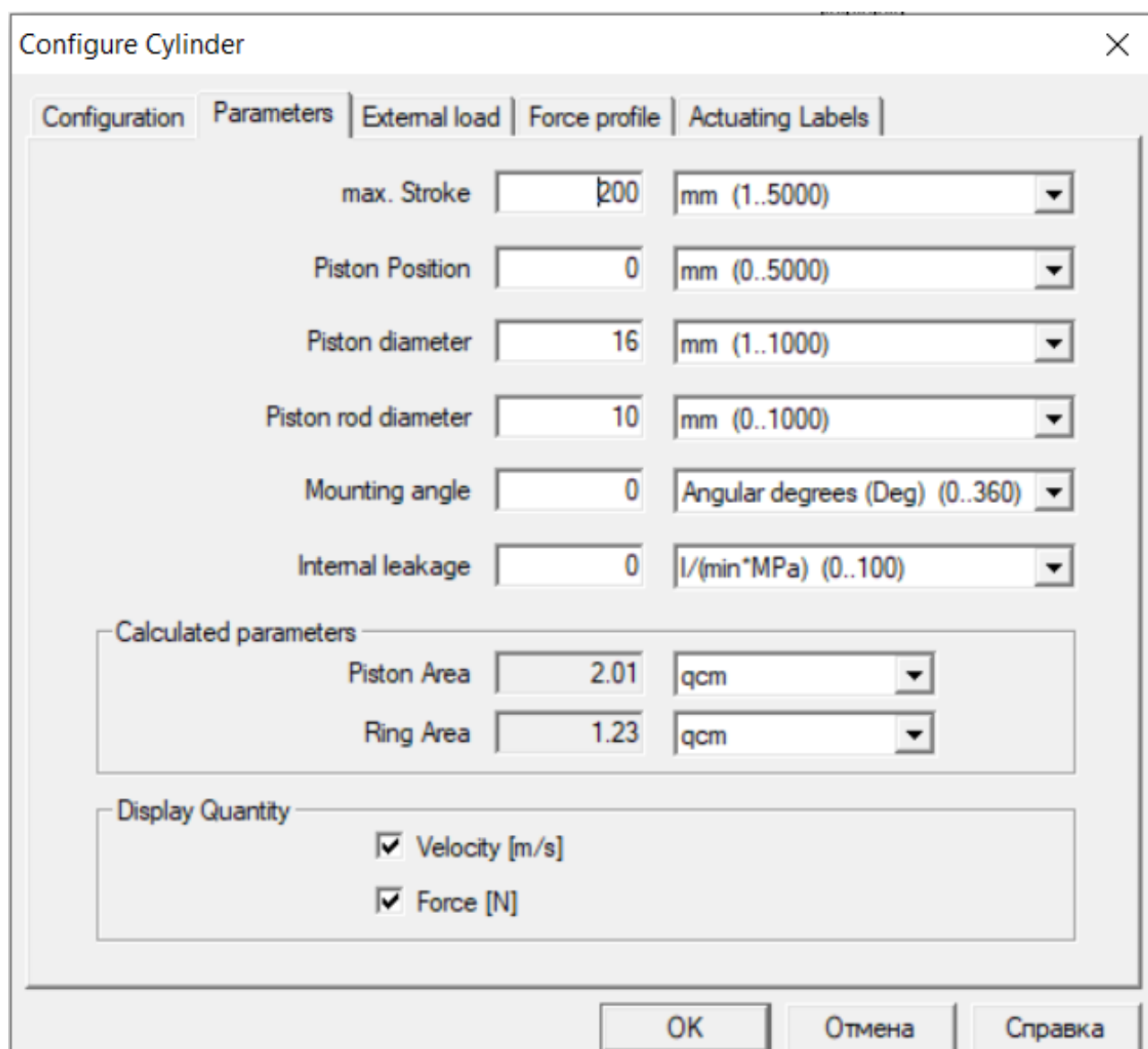


Рис. 5. Конфігурація циліндру двосторонньої дії

Електромагнітний клапан має бути налаштований так само, як циліндр (рис. 6). Параметри повинні відповідати документації на кожен клапан у системі. Для правильного моделювання кожен компонент має бути правильно налаштований.

Натискання клавіші (F9) запускає симуляцію, а клавіша T1 використовується для запуску послідовності, що моделюється. Це моделювання допомагає учням побачити, чи працює їхня логічна схема чи ні. Після того, як логічна схема запрацює у віртуальній моделі, гідравлічну та електричну схеми можна реалізувати у системі фізичного моделювання FESTO.

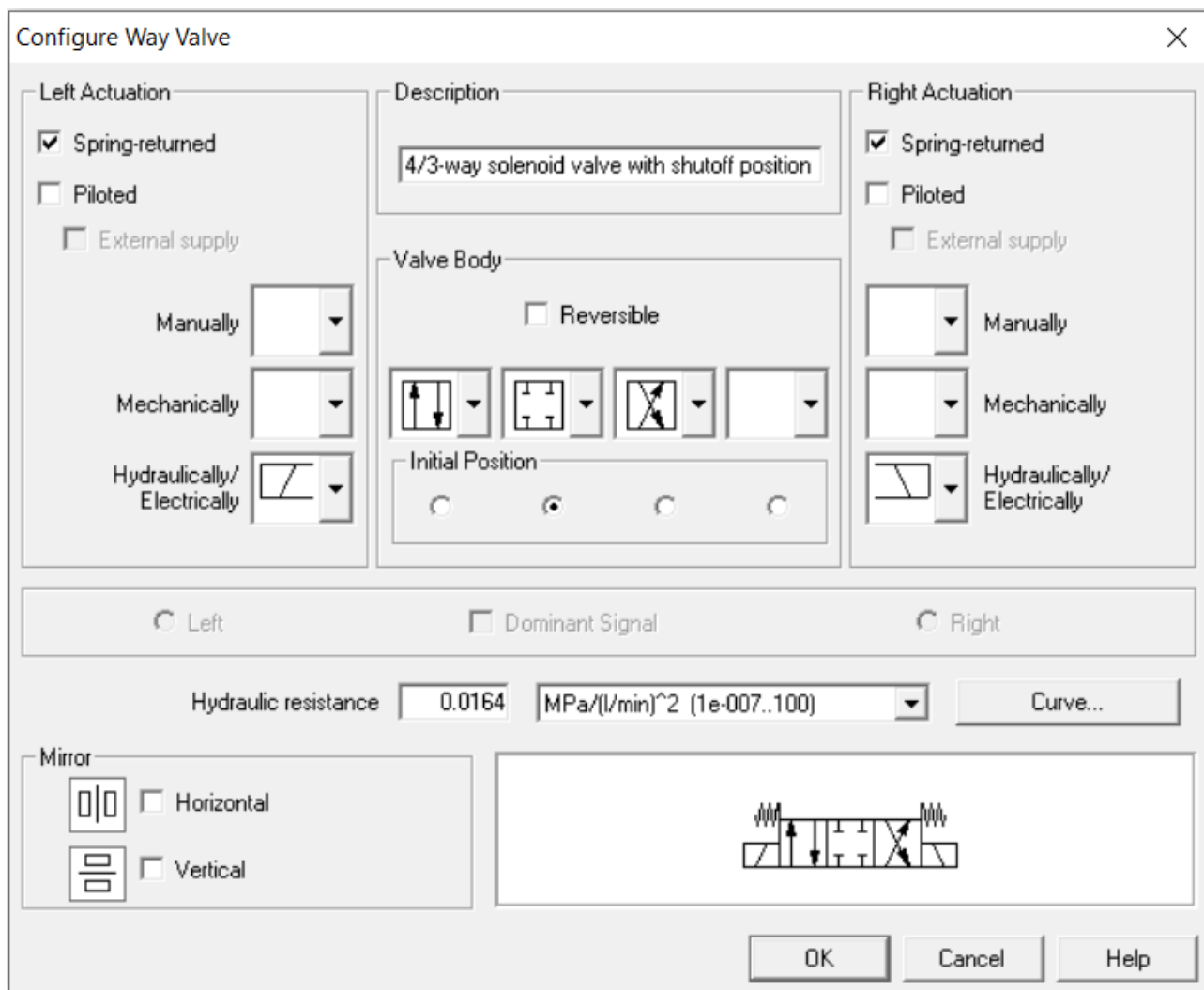


Рис. 6. Конфігурація гідравлічного розподільника

Для перевірки працездатності системи було отримано наступні результати. Крім моделювання логіки, програма FluidSim також може моделювати стан системи на осі часу. Цими станами можуть бути швидкість та положення циліндра, тиск та витрата на бажаному компоненті. У розглянутому прикладі моделюється циліндр, що діє зі зміною потоку на його вході. Величина витрат становила 20, 1 і 0,5 л/хв. Графіки зміни положення та швидкості циліндра А, а також графік зміни тиску на вході в циліндр за часом показано на рис. 7. Цей графік показує, що швидкість переміщення штока циліндра пропорційна величині витрати через нього. У міру збільшення витрати швидкість діючого циліндра збільшується, і для реакції потрібно менше часу.

За допомогою цього типу моделювання швидкість роботи циліндра можна відрегулювати до значення, яке має бути досягнуто у реальній системі.

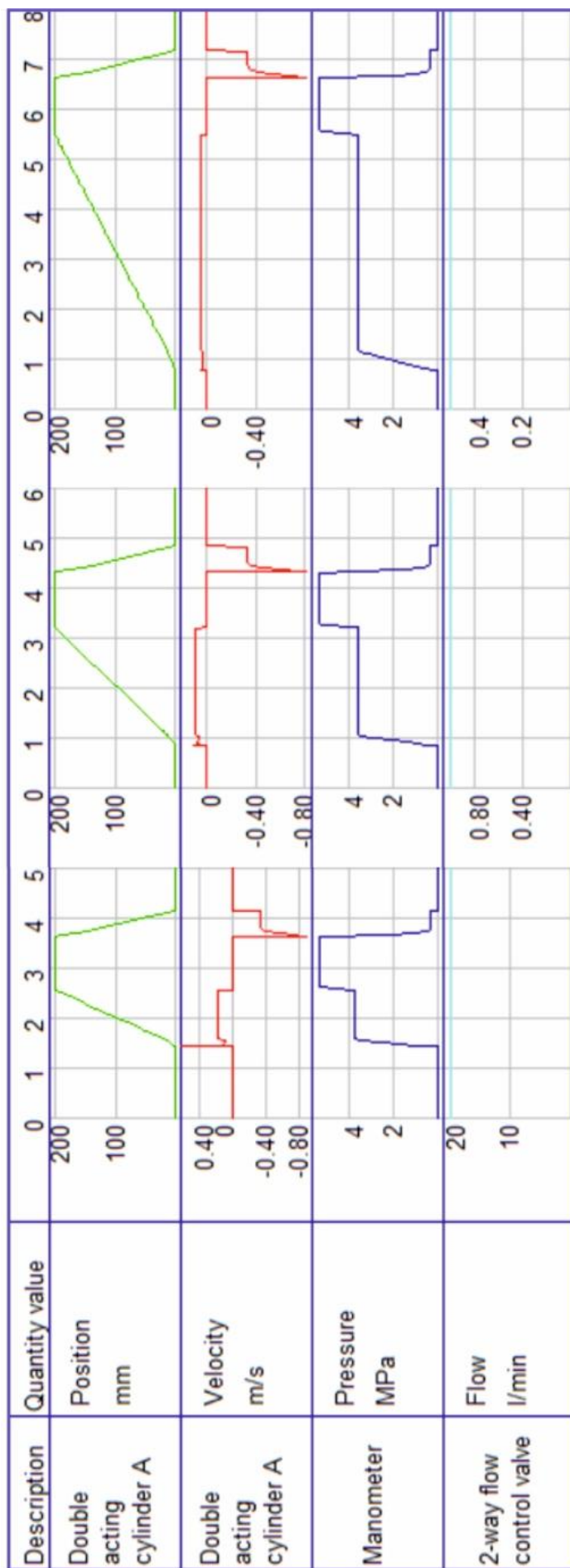


Рис. 7. Діаграма зміни положення та швидкості гідроциліндра А з часом в залежності від налаштувань регулятора витрат

Висновки. За останні десятиліття контекст інженерної освіти кардинально змінився. Фізичне моделювання та комп'ютерна симуляція можуть значно підвищити ефективність процесу навчання та викладання дисциплін, пов'язаних із електрогідравлікою.

У роботі продемонстровано застосування навчального комплексу для проектування та моделювання електрогідравлічних систем керування рухом. Гідро-система, яка була змодельована як приклад, була побудована з використанням основних компонентів системи управління рухом гідравлічного циліндра приладу фіксації деталей на робочому столі фрезерного верстата.

Найбільш важливими перевагами комп'ютерного та фізичного моделювання в освіті є інтерактивні функції, що сприяють візуалізації учнів та покращують процес вирішення поставлених завдань.

Застосовуючи представлений навчальний комплекс у дисциплінах, що викладаються, відмічено підвищення мотивації учнів, досягнуто вищого рівня практичних знань та навичок студентів порівняно з традиційною моделлю навчання.

Перелік посилань

1. Дербаба, В.А., Носачов, В.С. & Різо, З.М. (2021). Дослідження і удосконалення методики випробувань верстата на геометричну і кінематичну точність. *Збірник наукових праць НГУ*, (64), 198–212.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.198>
2. Bohdanov, O., Protsiv, V., Derbaba, V. & Patsera, S. (2020). Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 41–45.
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041>
3. Ruban, V., Derbaba, V., Bohdanov, O., & Shcherbyna, Y. (2023). Optimization of product processing modes in modeling and programming of machining on machine tools with program control. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, (72), 222–238.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.222>
4. Shreeve, M.W. (2008). Beyond the Didactic Classroom: Educational Models to Encourage Active Student Involvement in Learning. *The Journal of Chiropractic Education*, 22(1), 23–28.
<https://doi.org/10.7899/1042-5055-22.1.23>
5. Michael, J., & Martin, J.H. (2016). A comparison of problem-based and didactic learning pedagogies on an electronics engineering course. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 53(1) 3–22.
<https://doi.org/10.1177/0020720915592012>
6. Orošnjak, M., Jocanović, M., & Karanović, V. (2017). Simulation and modeling of a hydraulic system in FluidSim. *XVII International Scientific Conference on Industrial Systems*, 17, 50–53.
7. Suwandi, A., Alamsyah, N. F., Zariatun, D. L., Sulaksono, B., & Prayogi, E. (2020). Simulated design of hydraulic systems for fishing deck machinery hydraulic type with FluidSIM® software. *AIP Conference Proceedings*, 2227, 020012.
<https://doi.org/10.1063/5.0000914>
8. FESTO FluidSim (2016). *"Festo FluidSim User's Guide"*, FESTO Didactic SE, Art Systems GmbH.

ABSTRACT

Purpose. To present the design and modeling technology of real electrohydraulic systems, for use in the educational process of a higher educational institution, and the prospects of the proposed approach in the training of technical specialists. As an example, the model of the motion control system of the hydraulic cylinder of the device for fixing parts on the working table of a milling machine, created on the basis of components of the Festo company, is considered.

The methods. The methodological basis of the work is a systematic approach, which consists in the use of modern FluidSim software - comprehensive software for creating, modeling and studying, including electro-hydraulic circuits and educational equipment of the Festo company, which allows students to acquire and develop practical skills and at the same time simulate a real working environment. Additional advantages of computer and physical modeling in the educational process are the interactive component, which facilitates the visualization of educational material and improves the process of problem solving.

Findings. Taking into account the pedagogical features inherent in the world trends in technical education, the application of a comprehensive approach using computer and physical modeling in the training of technical specialists in the design of electrohydraulic systems is justified in the educational process. The sequence and results of the students' work on one of the options for the implementation of the educational project – the control system for the motion of the hydraulic cylinder of the device for fixing parts on the work table of the milling machine – have been demonstrated. The result of the proposed approach is also an increase in students' motivation, the achievement of a higher level of practical knowledge and skills compared to the traditional model of education.

The originality. A modified algorithm for the formation of an extended model of mastering educational material from electro-hydraulic devices and systems with the use of modern software and equipment has been developed. Which allows students to acquire and develop practical skills and at the same time simulate a real working environment.

Practical implementation. The materials of the work can serve as a basis for using the proposed integrated approach, which will improve the process of learning and teaching electrohydraulics, ensuring a higher level of learning outcomes, especially in terms of acquiring practical knowledge and skills.

Keywords: *modern technical education, electrohydraulic systems, hydraulic drive of machine tools, design and modeling, FluidSim, Festo.*